我国腐蚀成本及其防控策略

侯保荣[1,2,3] 路东柱[1,2,3*]

1 中国科学院海洋研究所 青岛 266071

2 中国科学院海洋大科学研究中心 青岛 266071

3 青岛海洋科学与技术国家实验室 青岛 266237

摘要 材料腐蚀是生产生活中的常见现象，严重的腐蚀不仅会造成材料失效，还可能诱发猝不及防的灾难性事故。了解与认识腐蚀问题，是保障人民群众生命财产安全的必然要求。为此，中国工程院针对我国腐蚀成本进行了调查研究。数据表明，2014年，我国腐蚀成本为21 278.2亿元人民币，约占当年国内生产总值的3.34%。腐蚀问题可防可控，通过实施防腐蚀顶层设计、加强腐蚀与防护研究、开发新型防腐蚀技术、推行防腐蚀经验标准、提高全民防腐蚀意识等方式，我国腐蚀防护水平将得以全面提升。

关键词 腐蚀，成本，调查，防护，策略

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.06.008

2017年10月18日，习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会题为《决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利》的报告[1]中指出：要“坚持总体国家安全观。统筹发展和安全，增强忧患意识，做到居安思危，是我们党治国理政的一个重大原则”；要“树立安全发展理念，弘扬生命至上、安全第一的思想，健全公共安全体系，完善安全生产责任制，坚决遏制重特大安全事故，提升防灾减灾救灾能力”。

2017年2月17日，习近平总书记在北京主持召开国家安全工作座谈会并发表重要讲话，强调要准确把握国家安全形势，牢固树立和认真贯彻总体国家安全观，以人民安全为宗旨，走中国特色国家安全道路，努力开创国家安全工作新局面，为中华民族伟大复兴中国梦提供坚实安全保障[2]。习近平指出，国家安全工作归根结底是保障人民利益，要坚持国家安全一切为了人民、一切依靠人民，为群众安居乐业提供坚强保障。习近平强调，要加强交通运输、消防、危险化学品等重点领域安全生产治理，遏制重特大事故的发生。要加大对维护国家安全所需的物质、技术、装备、人才、法律、机制等保障方面的能力建设，更好适应国家安全工作需要。

材料腐蚀是材料与环境发生化学或电化学反应而产生的材料破坏现象。材料腐蚀是生产生活中的常见现

*通讯作者

资助项目：中国工程院重大咨询项目（2015-ZD-08）

修改稿收到日期：2018年6月8日

象，严重的腐蚀不仅会造成材料失效，还可能诱发猝不及防的灾难性事故，给人民群众生产生活带来严重影响。了解与认识腐蚀问题，不仅是技术研究的需要，更是保障社会各界生命财产安全的必然要求。

1 腐蚀防护的重要性

*腐蚀防护事关安全。*腐蚀造成的危险物质泄露爆炸以及结构建筑断裂垮塌，会给人民带来猝不及防的意外事故，危及群众财产和人身安全。2013 年 11月22日，山东青岛经济开发区排水暗渠发生爆炸，造成 62 人死亡，直接经济损失超过 7.5 亿元人民币。国务院特别重大事故调查组调查报告指出，该事故直接原因是“输油管道与排水暗渠交汇处管道腐蚀减薄、管道破裂、原油泄漏”。

*腐蚀防护事关经济。*每个行业都涉及腐蚀问题，腐蚀问题得到有效控制和解决，对企业提高生产效率、控制整体成本具有重要作用。在一些发达国家，由于腐蚀防控措施得力，锈迹极为少见。

*腐蚀防护事关民生。*腐蚀造成的液体跑、冒、滴、漏现象和产生的有毒有害物质，会严重影响百姓的日常生活和身体健康。供水管道腐蚀可使饮用水浊度、色度、细菌数量等指标恶化，引发管网“红水”“黑水”或“有色水”现象，危及饮用水安全。

*腐蚀防护事关生态。*国外管道腐蚀破裂造成的大量石油泄漏事故，一度使河流、湖泊和上百公顷土地受到严重污染，大批植物枯死、动物绝迹。核电设施腐蚀可能引发放射性物质泄露，这不仅会损害周围生物的生理机能，甚至能损伤遗传物质，诱发基因突变。

*腐蚀防护事关节约。*腐蚀会加速已建成的设施和装备老化退役，缩短其寿命周期，而建造设施装备过程中使用了大量原材料和能源，因此腐蚀会造成间接浪费。腐蚀会造成水污染、大气污染、土壤污染等一系列污染问题，使这些珍贵资源更加稀缺。

*腐蚀防护是发展“一带一路”倡议的重要内容。*我国在协助“一带一路”沿线国家建造基础设施过程中会遇到当地腐蚀问题困扰，需更加充分地了解和认识“一带一路”沿线国家的腐蚀环境，继而提出防护方案。

腐蚀防护水平是国家文明和繁荣程度的反映，腐蚀防护安全关系到国民经济健康发展和国防建设长治久安，具有重要的战略意义和现实意义。

2 腐蚀成本调查

腐蚀成本调查活动是了解国家、地区或行业腐蚀状况的具体形式。通过腐蚀调查不仅能够了解到该国家、地区或行业特定阶段由腐蚀现象造成的损失程度，也能够洞察造成这些腐蚀问题的深层次原因，从而提出有针对性的防护策略，进而实施必要的防护措施，防控腐蚀带来的危害，降低腐蚀造成的损失。

腐蚀调查是国家或地区通过一系列调查活动了解自身腐蚀状况，衡量腐蚀所致经济、社会等多方面影响的重要途径。截至 2014 年，已经有许多国家就本国腐蚀状况进行过调查。美国、日本等部分国家还进行过多次腐蚀调查，以了解和分析不同发展阶段和国际背景下，腐蚀对国民经济和社会发展产生的深远影响。

国内外历次腐蚀调查都涉及直接成本。直接成本通常是指因材料腐蚀带来的器件更换、设备维修、研发投入、人力支出等可以用金钱直接衡量的成本。间接成本通常是指因材料腐蚀引发意外事故带来的人员伤亡、时间消耗、环境破坏、产品质量降低、品牌信用损失等难以用金钱确切衡量的成本。由于材料腐蚀对人员、时间、环境、社会等造成的影响难以用确切的金钱来衡量，间接成本通常更难以估算。

2.1 美国腐蚀调查

美国的 Uhlig[3]开展了全国腐蚀成本最早的研究工作，并于 1949 年发表“*The Cost of Corrosion to The United States*”一文，文中指出，美国的年度腐蚀成本约为 55 亿美元，约占 1949 年该国国民生产总值（GNP）的 2.1%。

1975 年，美国国家标准局（NBS）在国会建议下对

全国金属材料腐蚀成本进行了调查研究[4,5]。该项研究首次将投入/产出（Input/Output，IO）经济模型引入腐蚀调查，估算了130个工业部门的腐蚀成本。在此基础上，他们将总腐蚀成本划分为可避免腐蚀损失和不可避免腐蚀成本：可避免腐蚀成本是通过采取最经济有效的腐蚀控制技术可以降低的腐蚀成本；不可避免腐蚀成本为通过现有防腐蚀技术尚不能避免或降低的腐蚀成本。

1999—2001年，美国CC Technologies公司联合美国交通部、高速公路管理局和美国腐蚀工程师协会（NACE International）对该国的腐蚀成本进行了调查研究[6]，而这已是美国进行的第七次腐蚀成本调查。

2.2 日本腐蚀调查

1976年，日本防锈技术协会和腐蚀防蚀协会在通商产业省机械振兴资金资助下，成立了以冈本刚委员长为首的腐蚀调查委员会，综合已有调查方法对多个领域进行了为期1年的深入调研[7]，这是日本开展的第一次腐蚀调查。调查表明，1974年日本由腐蚀造成的损失约占日本当年GNP的2%。但这项研究仅仅评估了腐蚀的直接成本，如果将间接成本包括在内，腐蚀的整体成本会更高。

1999年，日本腐蚀防蚀协会和日本防锈技术协会再次成立了“腐蚀成本调查委员会”[8]，柴田俊夫教授任委员长，开展了日本第二次腐蚀调查。这次调查研究了如何通过防腐蚀技术降低腐蚀成本。该次调查推算的直接和间接腐蚀成本达到9.7兆日元，占据GNP的1.88%。报告指出，如果进行更加详细的调查，推算出的腐蚀成本一定比上述数值更大，甚至可能达到GNP的3%—4%。

2016年，日本第三次腐蚀成本调查也已启动，筱原正教授任腐蚀调查委员会主席。

2.3 英国腐蚀调查

1969年，Hoar教授应邀担任英国腐蚀防护委员会主席[9]，主持调查包括建筑、食品、工程机械、政府部门、海洋平台、金属冶炼和加工、石油化工、能源、交通和水环境等多个行业的腐蚀成本，并于1971年发表了英国腐蚀与防护状况调查报告。结果表明，英国年腐蚀成本为13.65亿英镑，占英国GNP的3.5%。

2.4 国际性腐蚀调查

2013年10月，美国腐蚀工程师协会启动了一项国际性的腐蚀调查活动IMPACT。该调查由美国腐蚀工程师协会牵头，并由挪威船级社-德国劳氏船级社（DNV GL）和美国生产效率与质量中心（APQC）联合中国、加拿大、印度等多个国家的企业和科研机构共同完成[10]。2014年，IMPACT项目经理一行来中国进行了大量调研，最终确认由中国工程院院士、中国科学院海洋研究所研究员侯保荣担任全球腐蚀调查中国区主席。

2.5 中国腐蚀调查

我国的腐蚀调查工作起步相对较晚[11]。1980年7月，原国家科委腐蚀学科组向化学工业、炼油工业、冶金工业、化纤工业等7个部门发放了《腐蚀管理与腐蚀损失调查表》，并进行了实地考察和调研。1986年，由武汉材料保护研究所负责对我国机械工业的腐蚀成本进行了调查。1999年，根据柯伟院士和曹楚南院士建议，中国工程院进行了“中国工业与自然环境腐蚀问题调查与对策”项目研究。

进入21世纪，尤其是2008年以来，全球经济和中国经济都出现了巨大变化。2008年爆发的国际金融危机，使发达经济体普遍遭受重创，世界经济的重心从发达国家向新兴经济体进一步转移[12]。欧美发达国家强烈意识到制造业对于改善经济和就业的重要性，陆续推出“再工业化”计划，希望推动产业结构调整，恢复经济。

“十二五”时期，党中央、国务院把调结构、转方式放在更加突出的位置，在发展中促转型，在转型中谋发展，经济结构调整不断迈出新步伐[13]。2012年，我国第三产业现价增加值占国内生产总值的比重上升到45.5%，首次超过第二产业成为国民经济第一大产业。工业转型升级步伐加快，坚持走新型工业化道路，推动工业化和信息化深度融合，工业发展向中高端迈进。加强工业、交通、建筑等重点领域节能，积极发展绿色低碳产业，能源消费结构发生深刻变化，单位产出能耗水

平大幅下降。深入实施大气污染防治行动计划，实行区域联防联控，污染物排放总量逐步得到控制，环境质量得到改善。高铁、公路、桥梁、港口、机场等基础设施建设快速推进，2014 年高速铁路运营里程突破 1.6 万公里，位居世界第一。

在我国供给侧结构性改革深入推进，经济结构不断优化的背景下，我国不同行业的腐蚀成本及其构成也在不断变化。为了解新时期我国整体腐蚀状况和不同行业的腐蚀特征，寻求降低腐蚀损失、保障重点基础设施和重大装备安全的防护策略，2015 年，中国工程院设立了“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目。该项目由中国科学院海洋研究所牵头，联合中国腐蚀与防护学会、北京科技大学、北京航空航天大学、南京水利科学研究院、中国人民解放军陆军装甲兵学院共同开展全国性的腐蚀调查。

调查范围包含基础设施、交通运输、能源、水环境、生产制造和公共事业等五大领域，其中：基础设施领域包括公路桥梁、港口码头、水利工程等行业，由中国人民解放军陆军装甲兵学院徐滨士院士负责；交通运输领域包括飞机、船舶、汽车、轨道交通等行业，由北京航空航天大学徐惠彬院士负责；能源领域包括石油化工、煤炭工业、电网、清洁能源等行业，由南京水利科学研究院张建云院士负责；水环境领域包括城市给排水、海洋平台、海水淡化等行业，由中国科学院海洋研究所侯保荣院士负责；生产制造及公共事业领域包括化工、文物、造纸、工程机械、医用材料、冶金及采矿、农机、食品等行业，由中国腐蚀与防护学会李晓刚教授负责。

3 腐蚀调查方法

国际通用的腐蚀成本调查方法有 Uhlig 法、Hoar 法和 Battelle 法[14]。

3.1 Uhlig 法

Uhlig 法是将生产、制造、养护、维修方面的防腐蚀措施所需费用直接累加。这些防腐蚀措施包括涂料与涂装、表面处理、耐蚀材料、防锈油、缓蚀剂、电化学保护、腐蚀研究和腐蚀检测等。

Uhlig 法通过总结防腐蚀材料、技术和相关服务所需成本得出整体腐蚀成本。防腐蚀材料成本可从政府部门、贸易组织、行业协会和企业单位等多种渠道获得。通过公开资料查阅、专家学者咨询、组织机构调研等方式获取防腐蚀技术和服务成本数据。

此次全国性的腐蚀调查中，防腐蚀产品年产量和防腐蚀技术销售额由政府部门统计数据核算得出，涂料等产品单位成本通过咨询行业专家或者数据分析获取，某一防腐蚀技术的整体市场规模由部分厂家产业规模及其相应市场份额推算获得。

3.2 Hoar 法

Hoar 法考察统计各行业的腐蚀成本和防蚀费用，继而进行累加综合。采用函调、专家咨询、实地调研等多种方式获得可靠数据，利用数学统计方法推算行业腐蚀成本，然后根据所得数据推算国家整体腐蚀成本。由于行业属性和生产环境不同，不同单位、不同行业收集到的腐蚀成本数据会有差异，并且不同行业获取数据的难易程度也有所不同。

通常情况下，基础设施和公共事业部分腐蚀成本相关信息是公开的，可从政府报告或其他公开文件中获得。除此之外，有些企业没有记录腐蚀成本数据，或不方便透露腐蚀成本相关数据，这时，可根据专家协助，采用科学严谨的方式，推算特定行业腐蚀成本。

此次全国性的腐蚀调查中，在典型国民经济领域和行业分发调查问卷，基于收回的调查问卷统计腐蚀成本。与此同时，调查特定行业部分代表性企业，衡量代表性企业所占市场份额，推算该行业腐蚀成本。代表性企业的腐蚀成本和营收数据是基础，而不同类型企业的腐蚀成本构成及腐蚀成本占生产总值的相对数额是有差异的，因此代表性企业的选择是关键。

3.3 Battelle 法

Battelle 法是用投入/产出矩阵（企业生产关联表）统

计得出国民经济各部门相关腐蚀费用，然后计算腐蚀成本。该方法提出了3种“世界”：

世界Ⅰ——存在腐蚀的真实世界；

世界Ⅱ——没有腐蚀的假想世界；

世界Ⅲ——假想的能够通过充分实践有效防腐的世界。

投入/产出模型被用于描述这3种“世界”。然后，这项研究将整体腐蚀成本确定为世界Ⅰ与世界Ⅱ间的差异。并进一步将整体腐蚀成本划分为可避免和不可避免两部分。可避免腐蚀成本体现在世界Ⅰ与世界Ⅲ之间的差异，即通过现有最经济有效的腐蚀控制技术可以降低的成本；不可避免腐蚀成本体现在世界Ⅱ与世界Ⅲ之间的差异，即通过现有的技术尚不能降低的成本。

4 腐蚀调查结果

Uhlig法调研结果表明，2014年中国直接腐蚀成本总计约10 639.1亿元人民币[11,15]。直接腐蚀成本中，防腐涂料占比最大，其次为防腐材料和表面处理费用。值得注意的是，由于难以获得腐蚀监检测行业确切数据等原因，腐蚀监检测成本未计算在内。参考国内外腐蚀调查经验，间接腐蚀成本包含腐蚀诱发的产量下降、信誉降低、环境污染、生态破坏、人员伤亡等因素导致的成本，间接腐蚀成本一般是直接腐蚀成本的1至数倍。保守估算，间接腐蚀成本与直接腐蚀成本相同。这样，采用Uhlig法计算的2014年中国腐蚀总成本为21 278.2亿元人民币，占2014年中国国内生产总值（GDP）的3.34%，即每位中国公民当年需承担约1 555元人民币的腐蚀成本[11,15]。

Hoar法估算的2014年中国5个国民经济主要领域的总腐蚀成本为11 090.2亿元人民币。从这些行业占中国国内生产总值的比例外推，得到由Hoar法统计的2014年中国直接腐蚀成本为13 489.8亿元人民币。值得注意的是，该数值高于Uhlig法得到的结果。参考以往类似腐蚀调查经验，该差别主要源于两方面：① Hoar法既考虑了防腐蚀投资又考虑了维护费用，而Uhlig法只考虑了前者；② 不同行业之间的业务交叉造成的不可避免的重复计算。被考察的5个领域中，生产制造和公共事业领域的直接腐蚀成本最高。

5 关于进一步提升我国腐蚀防护水平的建议

腐蚀防护科学是研究和保护人类文明赖以存在和发展的物质基础，即研究和保护各类材料、设备、设施的一门关键科学。但由于腐蚀防护是跨行业、跨部门、共性的，且不直接创造经济效益，它的被关注程度较低[16]。然而，腐蚀防护安全关系到国家经济健康发展和国防建设长治久安，具有重要的战略意义和现实意义。因此，必须全面提升我国腐蚀防护水平保障社会生产生活安全。

5.1 推进防腐蚀工作顶层设计，加强腐蚀防护管理

目前，缺乏专门机构及人员负责我国腐蚀防护工作的战略指导和总体规划。鉴于腐蚀防护领域重要性及其跨行业、跨部门的特点，可由科学技术部牵头，组织国家发展和改革委员会、工业和信息化部、国家市场监督管理总局等相关部门共同成立腐蚀防护领导小组和常设机构，加强我国腐蚀防护工作顶层规划、设计、协调、管理，促进我国腐蚀防护水平稳步提升。

腐蚀防护是一项长期性工作，建议成立专门机构，定期监测重点行业及重大工程的腐蚀状况和腐蚀成本，督促各企业或法人对重大公共设施和基础设施实施全寿命周期腐蚀控制管理，促使相关单位成立专业团队管控和处理腐蚀问题，建立重大基础设施和重点装备腐蚀状况及腐蚀管控情况定期汇报制度，保证其安全平稳运行。

5.2 设立科技专项，加大腐蚀防护技术研究，推动我国腐蚀防护技术创新发展

腐蚀防护是国民经济各行业面临的共性科学问题，应围绕我国基础设施和装备腐蚀防护重大科技问题及重大工程需求，在腐蚀规律、耐蚀机制、数值模拟、专用设备、腐蚀大数据、安全监检测、防腐新材料、长效防腐技术、安全管理体系等方面充分认知腐蚀破坏规律，

突破腐蚀防护安全领域难点核心技术、关键共性技术和专用防护技术，推动各行业设施与装备安全延寿。

可由科学技术部组织专家团队，结合国家需求，制定腐蚀防护科学技术发展规划，明确工作划分，落实经费来源。科学技术部可通过设立国家科技计划、重点基金等多种形式，择优资助腐蚀防护领域关键基础性专项研究。科学技术部还可联合国家发展和改革委员会等其他部门，提供稳定经费，支持和完善满足国内外生产建设基本需求的腐蚀防护研究基地、实验场站和信息共享平台建设。

5.3 尽快建立健全腐蚀防护安全相关法律法规及标准体系

建立健全腐蚀防护法律法规及相关安全标准体系，强化腐蚀防护安全管理和监管力度。促使企事业单位在工程设计、选材、建设、运行、维护等各阶段，采取针对性腐蚀防护标准，保障工程长久安全。

组建既懂防腐蚀技术又懂标准制定执行的防腐蚀标准化人才队伍，通过教育培训提高管理人员、技术人员、施工人员的防腐蚀标准化意识，以适应国内外市场规范化需求，提高各类工程防腐蚀质量。

不同行业应制定相应的防腐蚀设计施工标准与规范，使行业防腐蚀工作有章可循。认真实行防腐蚀工程质量监理，监理人员须经专业培训。

引导企事业单位统筹、长远地进行腐蚀安全管控，将设施和装备全寿命周期服役安全性、全寿命周期成本控制纳入相关考核评价标准，并在关乎人民群众生命财产安全的敏感行业强制执行。

5.4 加大先进腐蚀防护技术的融合、示范、推广和应用

经过多年的发展，我国在腐蚀防护领域已建立了一批研究和应用开发队伍，研发了一批具有国际领先水平的技术。应围绕我国基础设施和重大装备建设发展，推动先进腐蚀防护安全技术在新建和在役设施装备上的示范、推广和应用，推动“中国制造”由量向质的跨越。

2018 年，习近平总书记在两院院士大会上指出：“要把‘一带一路’建成创新之路，合作建设面向沿线国家的科技创新联盟和科技创新基地，为各国共同发展创造机遇和平台”[17]。随着“一带一路”倡议国际影响力的提升，相关国家在基础设施互联互通的合作日渐紧密。然而，“一带一路”沿线国家腐蚀防护技术发展水平参差不齐。部分“一带一路”沿线国家基础设施和重要装备建造与运行所在的特殊自然环境易诱发严重的腐蚀问题，相关工程不仅关系当地居民的生产生活，更关系到我国品牌的质量信誉。必须做好“一带一路”沿线典型国家、典型环境代表性腐蚀问题的前瞻性研究工作，提高我国腐蚀防护行业国际化水平，配合我国“一带一路”发展倡议，为我国“走出去”计划及“一带一路”沿线其他国家创新、绿色、高效、协调、共享发展作贡献。

5.5 加强教育和科普宣传，提高全民腐蚀防护意识

此次腐蚀调查结果表明，各行业开展腐蚀防护工作的最大困难是腐蚀防护专业人才的缺乏。因此，腐蚀防护安全国家战略除了需要在先进腐蚀防护技术研究、腐蚀安全法规和腐蚀安全管理上加大力度外，更需要在腐蚀教育与科普等方面大力开展工作。应加强我国本科生、研究生教育中腐蚀防护学科教学力度，使高校学生加深对腐蚀问题的了解和认识。同时加强腐蚀防护职业教育，在高等、中等职业学校开展防腐蚀技术培训，为各行业腐蚀防护第一线输送专业人才。

很多部门和企业领导对腐蚀的危害性认识不足，不了解防腐蚀投入和长期经济效益的相互关系。很多设计、制造、施工、管理等工程技术人员也缺乏应有的腐蚀防护知识。应通过公共媒体宣传、社会公益活动等多种途径，丰富加强普通民众的腐蚀防护知识和全寿命周期成本意识，让公众、政府部门、企业家、青年学生等各类群体认识到腐蚀危害和防腐的重要性。

6 结语

腐蚀问题是客观存在的，但这并不意味着可以不重视腐蚀问题。腐蚀问题造成材料破坏，带来突发性灾难

事故，造成难以挽回的重大损失。腐蚀问题可防可控，通过深入认识腐蚀规律，掌握腐蚀防护技术，推行防腐蚀设计管理，加强防腐蚀意识理念，就可以缓解腐蚀问题，提升设施装备安全性。

本次腐蚀调查使我们认清了我国现阶段的腐蚀成本，这也成为一个新的开端。通过实施国家层面的防腐蚀强化策略，我国将在各个领域全面提升材料防腐蚀水平，为决胜全面建成小康社会、夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利、实现中华民族伟大复兴的中国梦、实现人民对美好生活的向往提供有力支持！

参考文献

1 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告. [2017-10-27]. http://news.cnr.cn/native/gd/20171027/t20171027_524003098.shtml.

2 新华社. 习近平主持召开国家安全工作座谈会. [2017-02-17]. http://news.xinhuanet.com/politics/2017-02/17/c_1120486809.htm.

3 Uhlig H H. The cost of corrosion to the United States. Corrosion, 1950, 6(1): 29-33.

4 Bennett L H, Kruger J, Parker R L, et al. Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States. Part I. Washington DC: National Bureau of Standards, 1978.

5 Payer J H, Dippold D G, Boyd W K, et al. Economic effects of metallic corrosion in the United States. Part II. Washington DC: National Bureau of Standards, 1978.

6 Koch G H, Brongers M P H, Thompson N G, et al. Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. Washington DC: Federal Highway Administration, 2002.

7 Japan Society of Corrosion Engineering. Report of the Committee on Corrosion and Protection. Zairyo-to-Kankyo, 1977, 26(7):401-428.

8 Shibata T. JSCE's report on the cost of corrosion in Japan. Corrosion Management, 2001, 40: 17-20.

9 Hoar T P. Corrosion of metals: its cost and control. Proc R Lond A, 1976, 348: 1-18.

10 Koch G, Varney J, Thompson N, et al. International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. Houston: NACE International, 2016.

11 侯保荣. 中国腐蚀成本. 北京: 科学出版社, 2017.

12 刘世锦, 余斌, 陈昌盛. 金融危机后世界经济格局调整与变化趋势. 中国发展观察, 2014, (2): 18-19.

13 新华网. 国家统计局刊文回顾“十二五”经济社会发展成就. [2015-10-13]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2015-10/13/c_128312678.htm.

14 Biezma M V, San Cristóbal J R. Methodology to study cost of corrosion. Corrosion Engineering, Science and Technology, 2005, 40(4): 344-352.

15 Hou B R, Li X G, Ma X M, et al. The cost of corrosion in China. npj Materials Degradation, 2017, 1(4), DOI:10.1038/s41529-017-0005-2.

16 柯伟. 中国工业与自然环境腐蚀调查的进展. 腐蚀与防护, 2004, 25(1): 1-8.

17 习近平. 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话. [2018-05-28]. http://www.xinhuanet.com/politics/2018-05/28/c_1122901308.htm.

Corrosion Cost and Preventive Strategies in China

HOU Baorong[1,2,3]　LU Dongzhu[1,2,3*]

(1 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

3 Open Studio for Marine Corrosion and Protection, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract The corrosion of materials is a common phenomenon. Serious corrosion could cause failure of materials, and even cause catastrophic accidents. Awareness and understanding of the corrosion of materials are essential to safeguard the people's personal and property safety. For this purpose, the Chinese Academy of Engineering investigated the corrosion cost in China. It was estimated that the cost of corrosion in China was approximately 2127.8 billion RMB (~310 billion USD in 2014), representing about 3.34% of the gross domestic product. The corrosion of materials is preventable and controllable. Preventive strategies are suggested to improve the protection level in China. The strategies include but not limited to a top-level design of corrosion prevention, intensified study on mechanisms, development of new techniques and products, the popularization of relative standards and experience, and promotion of the public awareness of corrosion issues.

Keywords corrosion, cost, survey, prevention, strategy



侯保荣 中国工程院院士，中国科学院海洋研究所研究员。曾获国家科技进步奖、中国科学院科技进步奖、山东省科学技术最高奖、何梁何利奖等多项奖励和首届“全国优秀科技工作者”等荣誉称号。主要从事海洋腐蚀与防护技术研究，先后主持了“十一五”“十二五”国家科技支撑计划以及中国工程院重大咨询项目。E-mail: baoronghou@163.com

HOU Baorong Academician of Chinese Academy of Engineering, Professor of Institute of Oceanology, Chinses Academy of Sciences (CAS). He won a Second Class Prize of the State Scientific and Technological Progress Award, a Prize for Scientific and Technological Progress of Chinese Academy of Sciences, a Highest Science and Technology Award of Shandong Province, a Science and Technology Award of the Ho Leung Ho Lee Foundation, and "National Outstanding Scientific and Technical Worker". His research focus is on marine corrosion and its prevention. He presided two Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program during the Eleventh and Twelfth Five-Year Plan periods, and a Key Consulting Project of the Chinese Academy of Engineering successively. E-mail: baoronghou@163.com



路东柱 中国科学院海洋研究所助理研究员。东北大学冶金工程学士、硕士，中国科学院大学材料科学与工程博士。参与中国工程院重大咨询项目，参编《中国腐蚀成本》等专著。主要研究领域包括：轻合金表面扩渗层、金属的海洋腐蚀与防护、金属制备工艺与性能。近年来论文先后发表在*Materials and Design*、*Surface and Coatings Technology*等期刊上。
E-mail: ldz@qdio.ac.cn

LU Dongzhu Research Assistant of Institute of Oceanology, Chinses Academy of Sciences. He received B.S.

*Corresponding author

and M.S. degrees from Northeastern University, Shenyang, China, and a Ph.D. degree from University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, in 2014. He participated in a Key Consulting Project of the Chinese Academy of Engineering and involved in editing a book called The Cost of Corrosion in China. His current research interests include thermal diffusion alloying on light metals, marine corrosion and its prevention of metals, fabrication and properties of metals. His papers have been published in leading academic Journals such as *Materials and Design*, *Surface and Coatings Technology*, etc. E-mail: ldz@qdio.ac.cn

■责任编辑：岳凌生